

УДК 621.9

**О.М. ШЕЛКОВИЙ**, д-р техн. наук,  
**М.С. СТЕПАНОВ**, д-р техн. наук,  
**Ю.Г. ГУЦАЛЕНКО**, Харків, Україна

## **ФОРМУВАННЯ ТА АДАПТИВНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ СПАДКОВОСТІ ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ У ЖИТТЕВИХ ЦИКЛАХ ВИРОБІВ ШЛИФОВАННЯ**

Питання комплексного забезпечення ефективної технологічної спадковості інтегрованих електророзрядних технологій заготівельного, інструментального та механообробного виробництва в життєвому циклі виробів машинобудування розглянуті на прикладі іскрового-плазмового спікання, мікродугового оксидування і алмазно-іскрового шліфування.

**Ключові слова:** електророзрядні технології, іскрово-плазмове спікання, мікродугове оксидування, алмазно-іскрове шліфування, алмазно-абразивні інструменти.

Вопросы комплексного обеспечения эффективной технологической наследственности интегрированных электроразрядных технологий заготовительного, инструментального и механообрабатывающего производств в жизненном цикле изделий машиностроения рассмотрены на примере искрово-плазменного спекания, микродугового оксидирования и алмазно-искрового шлифования.

**Ключевые слова:** электроразрядные технологии, искрово-плазменное спекание, микродуговое оксидирование, алмазно-искровое шлифование, алмазно-абразивные инструменты.

The questions of integrated provision of effective technological heredity of integrated electric-discharge technologies of procurement, tool engineering and machining industries in the life cycle of engineering products are considered using the example of spark-plasma-sintering, microarc oxidation and diamond-spark grinding.

**Keywords:** electric discharge technologies, spark-plasma sintering, microarc oxidation, diamond-spark grinding, diamond-abrasive tools.

**Вступ.** Світовий досвід впровадження електричного розряду в практику інтегрованих технологій механооброблюючих виробництв машинобудування, їх заготівельного та інструментального забезпечення, надихає до пошуку поєднувальних синергетичних підходів комплексної виробничої організації високоефективних наукоємних розробок в цьому напрямі певного приборкування та використання електричних фізичних ефектів у задачах інженерної механіки. Виконані останніми роками розробки наукової школі фізики процесів різання та інтегрованих технологій машинобудування (НШ ФПРІТМ) НТУ «ХПІ» свідчать про технічну можливість та функціонально-експлуатаційну важливість реалізації стратегії створення, врахування та підтримки ефективної технологічної спадковості від етапа до етапу життєвого

циклу машинобудівних виробів інтегрованих технологій електророзрядної природи та його супроводження у сервісних технічних системах.

**Основна частина.** Прикладом науково-практичного напрацювання за таким техніко-ідеологічним сценарієм є використання комплексу інтегрованих електророзрядних технологій (ЕРТ) системою отримання наноструктурної заготовки іскрово-плазмовим спіканням (ІПС), підготовки алмазного інструменту локальним електроізоляційним мікродуговим оксидуванням (МДО) корпусу і проведення процесу обробки алмазно-іскровим шліфуванням (АІШ) на універсальному шліфувальному верстаті, рисунок 1.

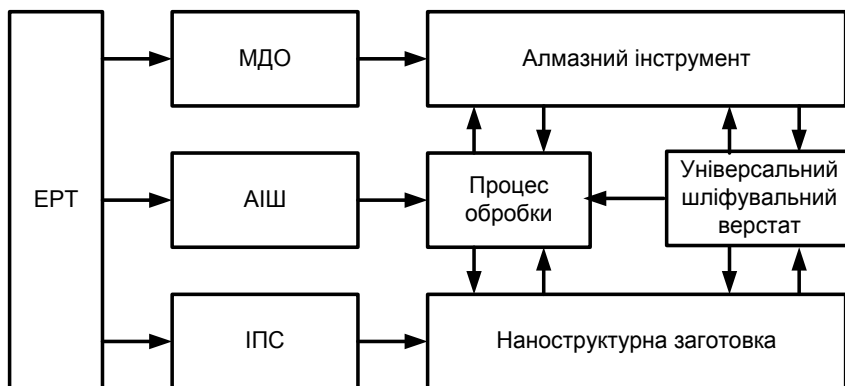


Рисунок 1 – Схема комплексного використання інтегрованих ЕРТ

У середовищі пріоритетної уваги розробок НШ ФПРІТМ НТУ «ХПІ» останніми роками знаходиться ряд ініційованих в неї сучасних інноваційних підходів щодо удосконалення алмазно-абразивних інструментів (ААІ). Серед них із застосуванням електророзрядних технологій пов'язані два. Перший пов'язаний зі створенням ААІ із спеціальною адаптацією конструкції до використання у високопродуктивних комбінованих технологіях АІШ з введенням електричної енергії в зону різання та можливістю гнучкого впливу на стан ріжучого рельєфу за рахунок її дозування без струмозахисного переділу відповідального за точність обробки шпиндельного вузла верстату [1]. Другий полягає у реалізації конвенціональних ААІ у складі спеціальних багатомісних інструментальних вузлів, а саме планетарних, з регулюванням кута нахилу поверхні різання та подвійним параметричним регулюванням її швидкості відносно оброблюваної поверхні, причому також зі струмопідводом на корпус шліфувального круга через вхідне струмознімання безпосередньо конструкцією змінної інструментальної головки

(багатомісного інструментального вузлу), тобто також без переділу шпіндельного вузла верстату [2].

Удосконалення за першим підходом стосуються ААІ всієї номенклатури виробництва профільних підприємств інструментальної промисловості, тобто у принципі застосовні для шліфувальних кругів усіх конструкцій та їх застосувань у різних схемах обробки. За другим підходом – тільки схеми плоского торцевого шліфування багатоінструментальними головками. Обидва підхода поєднує спрямованість на спрощену організацію АІШ на універсальних шліфувальних верстатах, без пов'язаних з механічною обробкою модернізаційних втручань у відповідальні за точність шліфування шпіндельні вузли, що особливо важливо в умовах звичайних підприємств-користувачів, які не є спеціалізованими верстатобудівельними.

Патентний захист першої із запропонованих конструкцій шліфувального круга, що полягає в електроізоляції мікродуговим оксидуванням посадкового отвору інструмента з алюмінієвим корпусом, завершено у 2015 році [3].

Попередні експериментальні перевірки функціональної працездатності мікродугових алюмооксидних покриттів, а також спеціально розроблених на універсально електроізоляційної епоксидній основі [4], натурних зразків алмазних шліфувальних кругів нових конструкцій з їх використанням за прямим призначенням дозволили обґрунтовано підійти до підготовки нині виконуваного в НТУ «ХПІ» дворічного проекту по розробці конструкційно-технологічних основ і технічних рішень алмазних інструментів підвищеної функціональності в реалізації електрофізикохімічних методів шліфування. Проміжні результати виконання цього проекту відображені в науково-технічному звіті по першому етапу (2017 рік) [5]. Виконанням етапу закладені передумови створення оригінальної системи технічних і технологічних рішень щодо подальшого підвищення ефективності комбінованого введенням енергії електричного струму в зону різання алмазного шліфування, конкурентоспроможності національних конструкторсько-технологічних розробок верстатострументальних систем з розширеними можливостями алмазно-абразивної обробки, а також початку нового системологічного напрямку в класифікації і виробництві алмазно-абразивних інструментів.

При виконанні МДО поверхонь робочих сполучень, посадкових в роз'ємних або в нероз'ємних складальних з'єднаннях, як це має місце, наприклад, в технічних рішеннях алмазних шліфувальних кругів з локальної токозащитою корпусу для їх розширеної адаптації до АІШ, розроблених в НТУ «ХПІ» на базі корпусних конструкцій відповідно конвенційного універсального типу [3] і спеціальної, виконаної згідно з японським прототипом заодно зі шківом робочого приводу [6], важливо надійно прогнозувати розмірний результат цієї операції.

Проблема відомої зміни (збільшення) розміру в напрямку формування покриття через захоплення вентильним металом поверхневого шару об'єкта

МДО атомів іонізованого в хімічно активний озон кисню [7] вимагає спеціальної уваги у зв'язку з МДО посадкових поверхонь шліфувальних кругів, розмірна точність яких повинна відповідати вимогам сполучення із контртілом в системі інструментального шпинделю верстата [8].

Відповідно стехіометричної трансформації металу поверхні об'єкта МДО в окисидну структуру це теоретично передбачуваний ріст. Однак різна експериментальна практика показує, що розрахунки, які базуються тільки на стехіометрії, лише відображають тенденцію, але не є достатніми для адекватних прогнозів лінійного збільшення матеріалу в ході МДО в напрямку формування покриття в порівнянні з вихідним станом. Відомий сторонній і власний [5] експериментальний досвід стосовно алюмінієвих і титанових сплавів, свідчить про суттєвий вплив на кінцевий розмірний ефект МДО електричних параметрів, часу протікання процесу, складу електроліту, марочного хімічного складу і відповідності йому об'єкта МДО, заготівельної технології та вихідної щільності останнього.

Зборка будь яких машинобудівних виробів, особливо складних, в умовах одиничного або дрібносерійного виробництва, до чого з певною аналогією можна віднести установку шліфувального круга на верстаті і формування поверхневих функціональних покриттів, взагалі характеризується низьким рівнем достовірності технологічних рішень. Це насамперед пов'язано з неможливістю пошуку оптимальних варіантів технологічних процесів для заданих організаційно-технічних умов виробництва із-за штучності як об'єкту зборки, так і засобів, що при цьому застосовуються.

Для повноцінної роботи системи проектування складального процесу використовується конструкторська-технологічна модель виробу у вигляді його представлення графом, вузли якого утворюються сукупністю модулів поверхонь, а ребра – модулів з'єднання. Задачами моделювання є декомпозиція виробу на модулі поверхонь і модулі з'єднання, встановлення зв'язків між ними і безпосередньо побудова графа виробу. В результаті система проектування дрібносерійного складання машинобудівних виробів матиме можливість пізнавати виріб і деталі як об'єкти, що взаємодіють, а не як абсолютно знеособлені тіла.

Виходячи з досвіду [9] імітаційного моделювання механоскладального виробництва відносно підвищення якісного рівня експлуатаційної пристосованості виконуваної розробки формування функціональних покриттів за методом МДО на посадочних щодо інструментального шпинделю верстату поверхнях ААІ в умовах споживачів інструменту, тобто в умовах машинобудівних підприємств, в сучасних економічних умовах зазвичай з одиничним або малосерійним характером виробництва, можна пропонувати експлуатаційно більш ефективну та технологічно більш гнучку реалізацію з прив'язкою приєднувальних розмірів ААІ після МДО в умовах підприємства-користувача до існуючого верстату наступного використання

ААІ, тобто з визначенням потрібного розміру посадкового отвору ААІ після МДО його поверхні за фактичним розміром посадкової поверхні інструментального шпинделю верстату, що сполучається.

Використання інтегрованих ЕРТ в порошковій металургії і алмазно-абразивній механічній обробці забезпечує високі рівні продуктивності та якості виробництва [10]. Організація енергетично менш ємних умов виникнення електричних розрядів як в придушенні пористості порошкових матеріалів, які консолідують під тиском з прямим струмовідводом в зону формування по методу ІПС, так й в оновленні поверхні зв'язки алмазно-металевої композиції робочої частини ААІ по методу АПШ, врахування технологічної спадковості ІПС при визначенні режимів АПШ, особливо в роботі з наноструктурними матеріалами, є важливими для ресурсозбереження у виробництві і функціональності у використанні кінцевих продуктів [11].

**Висновок.** Застосування спрощеної організації АПШ на універсальних верстатах без електроізоляційного переділу шпиндельних вузлів завдяки використанню ААІ із сформованими на їх корпусах методом МДО діелектричними покриттями розширює коло ефективних ЕРТ в системі технологічного забезпечення життєвого циклу виробів з матеріалів високої функціональності, особливо наноструктурних, отриманих за методом ІПС, на етапах їх виробництва з фінішним застосуванням АПШ та відповідного сервісного супроводження інструментальним забезпеченням.

**Список использованных источников:** 1. Гуцаленко, Ю.Г. Организация технических систем и технологические перспективы алмазно-искрового шлифования / Ю.Г. Гуцаленко // Високі технології в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Вип. 1(23) – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – С.30-39. 2. Грабченко А. Розроблення та впровадження у виробництво дослідно-промислових зразків планетарних інструментів та високоєфективних технологій алмазного шліфування важкооброблювальних матеріалів : звіт про НДР (заключн.) / А.Грабченко, В.Федорович, І.Пижов та ін.; кер. теми А.Грабченко, відп. вик. В.Федорович. – № держ. реєстрації 0109U007406; інв. № 0210U007380. – Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Х., 2010. – 278 с. 3. Гуцаленко, Ю.Г. Шліфувальний круг : патент на корисну модель № 96568 Україна : МПК (2006.01) B24D 3/06 / Ю.Г. Гуцаленко, О.К. Севидова, І.І. Степанова; власник : Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – № у 201409394; заявл. 26.08.2014; опубл. 10.02.2015. Бюл. № 3. 4. Гуцаленко, Ю.Г. Композиція для електроізоляційних зносостійких покриттів : патент на корисну модель № 92786 Україна : МПК C08L 63/02 (2006.01), C08J 5/16 (2006.01) / Ю.Г. Гуцаленко, В.В. Івкін, О.В. Руднєв, О.К. Севидова; власник : Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № у 201315441; заявл. 30.12.2013; опубл. 10.09.2014. Бюл. № 17. 5. Грабченко, А.І. Розробка конструкційно-технологічних основ і технічних рішень алмазних інструментів підвищеної функціональності в реалізації електрофізикохімічних методів шліфування : Звіт про НДР (проміжн.) / А.І. Грабченко, О.К. Севидова, О.М. Шелковий та ін.; кер. теми А.І. Грабченко, відп. вик. О.К. Севидова. – № держ. реєстрації 0117U004883; інв. № 0218U001286. – Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Х., 2017. – 256 с. 6. Гуцаленко, Ю.Г. Шліфувальний круг : патент на корисну модель № 117767 Україна : МПК (2006.01) B24D 5/16 / Ю.Г. Гуцаленко, О.К. Севидова, В.В. Білозеров, Г.І. Махатілова; власник : Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № у 2017 00074; заявл. 03.01.2017; опубл. 10.07.2017. Бюл. № 13. 7. Суминов, І.В. Микроудовое окисливание (теория, технология, оборудование) / И.В. Суминов, А.В. Эльфельд, В.Б. Людин и др. – М. : ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с. 8. Гуцаленко, Ю.Г. Прогностические вызовы размерного

эффекта микродугового оксидирования контактных поверхностей в задачах технологии машиностроения / Ю.Г. Гуцаленко, О.К. Севидова, И.И. Степанова // Качество, стандартизация, контроль : теория и практика : Материалы 17-й междунар. науч.-практ. конф, 4-8 сент. 2017 г., г. Одесса. – Киев : АТМ України, 2017. – С. 59-61. **9.** Шелковий, О.М. Математичне забезпечення імітаційного моделювання процесу технологічної підготовки / О.М. Шелковий, М.С. Мартинов // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2017) : матеріали тез доп. VII міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чернівці, 24-27 квітня 2017 р.) : у 2-х т. / Чернівці. нац. техн. ун-т. [та ін.]. – Чернівці : ЧНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 149-150. **10.** Узунян, М.Д. Шліфування наноструктурних твердих сплавів : навч. посібник / М.Д. Узунян, Р.М. Стрельчук. – Х. : НТУ «ХПІ», 2015. – 182 с. **11.** Гуцаленко, Ю.Г. Теория и практика оптимальной организации электроразрядных технологий спекания под давлением и алмазного шлифования высокоплотных порошковых материалов / Ю.Г. Гуцаленко // Сучасні технології в машинобудуванні. – Вип. 9. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – С. 17-22.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Gutsalenko, Yu.G. “Organizaciya tekhnicheskikh sistem i tekhnologicheskie perspektivy almazno-iskrovogo shlifovaniya”. *Vysoki tekhnologii v mashinobuduvanni*. Kharkov: NTU «KhPI», 2013. Iss. 1(23), 30-39. Print. **2.** Grabchenko, A., et. al. *Rozrobka tehniko-tehnologichnih rishen i doslidnih zrazkv elementiv sistemi «verstat-osnastka-instrument» ploskogo tortseвого shlifuvannya vazhkoobroblyuvanih materialiv*. Zvit pro NDR (zaklyuchn.). No. derzh. reestratsії 0109U007406, inv. No. 0210U007380. Ker. temi A. Grabchenko, vidp. vik. V. Fedorovich / Nat. Tech. Univ. "Kharkov Polytechnic Inst." Kharkov, 2010. Print. **3.** Gutsalenko, Yu.G., O.K. Sevidova, and I.I. Stepanova. *Shlifuval'nij krug: patent na korisnu model'*. No. 96568 Ukraine. IPC, 2006.01 B24D 3/06. No. u 2014 09394. Appl. 26.08.2014. Publish. 10.02.2015. Bull. No. 3. Print. **4.** Gutsalenko, Yu.G., et al. *Kompoziciya dlja elektroizoljacijnih znosostijkih pokrittiv: patent na korisnu model'*. No. 92786 Ukraine. IPC, 2006.01 C08L 63/02, C08J 5/16. No. u 201315441. Appl. 30.12.2013. Publish. 10.09.2014. Bull. No. 17. Print. **5.** Grabchenko, A.I., et. al. *Rozrobka konstrukciyno-tehnologichnih osnov i tekhnichnih rishen' almaznih instrumentiv pidvishchenoi funkcional'nosti v realizacii elektrofizikohimichnih metodiv shlifuvannya : Zvit pro NDR (promizhn.)*. No. derzh. reestratsії 0117U004883, inv. No. 0218U001286. Ker. temi A.I. Grabchenko, vidp. vik. O.K. Sevidova. Nat. Tech. Univ. "Kharkov Polytechnic Inst." Kharkov, 2017. Print. **6.** Gutsalenko, Yu.G., et al. *Shlifuval'nij krug: patent na korisnu model'*. No. 117767 Ukraine. IPC, 2006.01 B24D 5/16. No. u 2017 00074. Appl. 03.01.2017. Publish. 10.07.2017. Bull. No. 13. Print. **7.** Suminov, I. V., et al. *Mikrodugovoe oksidirovanie (teoriya, tehnologiya, oborudovanie)*. Moscow: EKOMET, 2005. Print. **8.** Gutsalenko, Yu.G. “Prognosticheskie vyizovy razmernogo efekta mikrodugovogo oksidirovaniya kontaktnyih poverhnostey v zadachah tehnologii mashinostroeniya”. *Kachestvo, standartizatsiya, kontrol: teoriya i praktika: Materialy 17-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf, 4-8 sent. 2017 g., g. Odessa*. Kiev: ATM Ukraine, 2017. 59-61. Print. **9.** Shelkovi, O.M., and M.S. Martinov. “Matematiche zabezpechennya imitatsiyного modelyuvannya protsesu tehnologichnoyi pidgotovki”. *Kompleksne zabezpechennya yakosti tehnologichnih protsesiv ta sistem (KZYaTPS-2017): materialy tez dop. VII mizhnar. nauk.-prakt. konf. (m. Chernigiv, 24-27 kvitnya 2017 r.)*. ChernIglv: ChNTU, 2017. Vol. 1. 149-150. Print. **10.** Uzunyan, M.D., and R.M. Strelchuk. *Shlifovanie nanostrukturnyih tverdyih splavov*. Kharkov, NTU “KhPI”, 2015. Print. **11.** Gutsalenko, Yu.G. “Teoriya i praktika optimalnoy organizatsii elektrorazryadnyh tehnologiy spekaniya pod davleniem i almaznogo shlifovaniya vyisokoplotnyh poroshkovyih materialov”. *Suchasni tehnologiyi v mashinobuduvanni*. Iss. 9. Kharkov: NTU «KhPI», 2014. 17-22. Print.